

DESAIN GENERATOR LISTRIK PUTARAN RENDAH MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN NEODIMIYUM IRON BORON UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)

M. Irfan, Ermanu AH, Diding S, Nur Kasan, Amrul F.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

M. Irfan

Jl. Raya Tlogomas 246 Malang, Telp/Fax 0341-464318 ext. 129/0341-460782

E-mail: irfan_tsd@yahoo.com

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan salah satu energi terbarukan dimana pemanfaatan energi yang masih $\pm 3-5\%$ dari potensi tenaga angin yang ada. PLTB membutuhkan generator untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik saat ini, generator yang banyak tersedia dipasaran merupakan generator jenis *high speed induction generator* dimana generator ini membutuhkan kecepatan putar yang tinggi serta masih membutuhkan arus listrik untuk membangkitkan medan magnet. Dalam penelitian ini, generator yang didesain mempunyai putaran 1000 rpm, menggunakan magnet permanen jenis Neodimiyum Iron Boron (NdFeB). Software yang digunakan dalam mendesain *Electromagnetic Infolytica*. Tahapan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dengan merubah-ubah ukuran diameter generator, jumlah lilitan, diameter kawat tembaga, jumlah kutub, dan slot yang dipakai. Hasil simulasi yang diperoleh generator putaran rendah 1000rpm, tegangan rata-rata 41.55 Volt membutuhkan diameter generator 18 centimeter, jumlah lilitan sebanyak 300, diameter kawat tembaga yang digunakan sebesar 0.6mm, jumlah kutub (pole) sebanyak 8 pasang, dan slot sebanyak 12 buah.

Kata kunci: PLTB, generator, magnet permanen, Neodimiyum Iron Boron

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini. Di tengah potensi angin melimpah di kawasan pesisir Indonesia, total kapasitas terpasang dalam sistem konversi energi angin saat ini kurang dari 800 kilowatt [1]. Di seluruh Indonesia, lima unit kincir angin pembangkit berkapasitas masing-masing 80 kilowatt (kW) sudah dibangun. Tahun 2007, tujuh unit dengan kapasitas sama menyusul dibangun di empat lokasi, masing-masing di Pulau Selayar tiga unit, Sulawesi Utara dua unit, dan Nusa Penida, Bali, serta Bangka Belitung, masing-masing satu unit. Mengacu pada kebijakan energi nasional, maka pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ditargetkan mencapai 250 megawatt (MW) pada tahun 2025.

Pada akhir tahun 2008, rasio elektrifikasi di Indonesia masih 65,1%, sedangkan rasio elektrifikasi yang paling rendah (20% - 40%) adalah di daerah NTB, NTT, Sultra, Papua, dan Irian Jaya Barat [2]. Sehingga pemerintah terus mengupayakan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi, terutama di daerah terpencil (daerah yang belum teraliri listrik PLN) dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti energi angin. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah merancang generator listrik yang mampu menghasilkan tegangan dan arus yang besar dengan kecepatan putar rendah.

Salah satu komponen penting dalam PLTB adalah generator listrik, yaitu sebuah alat yang mengubah putaran turbin angin menjadi energi listrik. Saat ini, generator listrik yang banyak tersedia di pasaran berjenis *highspeed induction generator*, yaitu generator yang membutuhkan putaran tinggi antara 1000rpm s/d 1500rpm, dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Sedangkan pada PLTB, dibutuhkan generator yang mempunyai putaran rendah dan tanpa energi listrik awal, hal ini disebabkan karena kecepatan angin rata-rata di Indonesia sebesar 3.47m/detik dan di wilayah Malang sebesar 2.7m/detik [3]. Dengan kecepatan angin yang sangat kecil ini, maka sulit untuk menggerakkan generator putaran tinggi [4].

Penerapan PLTB telah berhasil dilakukan sebelumnya oleh peneliti [5], tepatnya di pesisir pantai selatan Kabupaten Malang. Namun PLTB yang dibuat masih menggunakan generator (dinamo) mobil yang dimodifikasi, sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan masih sangat terbatas. Pemanfaatan generator putaran rendah telah berhasil dilakukan oleh Dhiyaul Farhan, dkk untuk

penerangan lampu jalan. Pada generator aksial yang terdiri dari 9 kumparan ini mampu bekerja pada 560 rpm dan tegangan keluaran maksimal sebesar 30V [6].

Diding Suhardi telah merancang dan membuat sebuah generator listrik putaran rendah dengan putaran 180 rpm. Namun dalam penelitian ini, daya listrik generator masih sangat kecil yaitu sebesar 25 Watt, dengan efisiensi hanya 25% [7]. Aris Budiman dkk, telah membuat dan menguji generator aksial magnet permanen. Tegangan listrik maksimal yang dihasilkan pada saat berbeban sebesar 12V dengan arus sebesar 0.14A. Namun, kecepatan putaran generator masih cukup tinggi yaitu 1200 rpm [8]. Dengan bahan magnet permanen yang tersedia di pasaran, Hasyim Asy'ari, dkk telah merancang generator magnet permanen putaran rendah untuk PLTB. Pada penelitian ini dihasilkan desain generator magnet permanen dengan kecepatan 1000 rpm dan tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 38V serta arus 114 mA [9].

Perancangan generator pada penelitian ini menggunakan magnet permanen Neodymium Iron Boron ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) yang merupakan magnet tetap dan kuat. Karakteristik magnet yang dimiliki NdFeB lebih baik bila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya, seperti Ferit, Alnico dan Samarium Cobalt. Maksimum energi produk (BH_{max}) yang dimiliki dapat berkisar antara 30 MGOe sampai dengan 52 MGOe, yaitu mencapai 440 kJ/m^3 [10]. Karena memiliki karakteristik magnet yang tinggi, maka dalam aplikasinya magnet NdFeB memiliki dimensi dan volume yang kecil. Dalam beberapa aplikasi, magnet ini juga dapat menggantikan penggunaan magnet Samarium Cobalt, khususnya penggunaan pada suhu kurang dari 80°C . [11].

G.Dilev dan Ose-Zaja, telah merancang dan membuat generator induksi dengan sistem eksitasi sendiri. Magnet yang digunakan adalah magnet permanen berjenis NdFeB. Namun dalam penelitian ini, belum ditunjukkan pengujiannya menggunakan beban listrik tertentu, sehingga belum diketahui berapa daya listrik yang bisa dihasilkan [12]. Penggunaan magnet permanent jenis NdFeB untuk generator putaran rendah telah berhasil dikerjakan oleh Fiky Alqodri, dkk pada tahun 2015. Dengan kecepatan 500rpm, tegangan yang dihasilkan masih sangat rendah yaitu 2V [13].

Desain generator listrik putaran rendah menggunakan magnet permanen $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ pada penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu menentukan spesifikasi generator, dilanjutkan desain geometri yang terdiri dari komponen stator dan rotor, merancang celah udara (*air gap*) stator dan rotor, desain magnet permanen dan kumparan yang digunakan serta simulasi model (*running dan plotting*) yang telah dibuat.

2. Metode Penelitian

Desain generator pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak khusus yaitu *software* MagNet *Infolytica* dengan beberapa tahapan yaitu:

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori dasar generator dan untuk mendapatkan penelitian-penelitian sebelumnya yang dapat digunakan sebagai acuan [6][8]. Informasi yang dibutuhkan diantaranya adalah tentang generator AC, rumus perhitungan tegangan pada *coil* (kumparan), perangkat lunak MagNet *Infolytica*.

2.2 Spesifikasi

Sebelum mendesain sebuah generator, maka ditentukan terlebih dahulu spesifikasi generator yang diinginkan. Spesifikasi generator pada penelitian ini, antara lain:

- Magnet permanen yang digunakan terbuat dari bahan *Neodymium Iron Boron* (NdFeB)
- Jumlah kutub magnetnya sebanyak 8 buah
- Diameter generator sebesar 18 cm
- Diameter kawat tembaga sebesar 0.6mm
- Jumlah lilitan sebanyak 25 buah untuk masing-masing kumparan (*coil*)

Karena model selalu berulang tiap 90° maka dapat disimulasikan dengan $\frac{1}{4}$ bagiannya. Desain generator diberikan batas model 90° area atau $\frac{1}{4}$ bagian dari model keseluruhan. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pembuatan model generator, sehingga untuk model 360° area atau seluruh bagian, maka hanya perlu mengalikan 4 kali model 90° .

2.3 Desain Model Stator

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, generator didesain dengan model 90^0 , sehingga model stator juga dibuat sebesar $\frac{1}{4}$ bagian. Bahan dasar stator menggunakan USS Transformers 52—29, dengan jarak 40mm. Satu stator terdiri dua buah yaitu stator kanan dan stator kiri. Untuk generator model 90^0 membutuhkan 3 stator.

2.4 Desain Model Coil

Fungsi *coil* (kumparan) pada stator adalah sebagai penghantar utama arus keluaran generator. Bahan dasar *coil* menggunakan tembaga murni $5.77e7$ Siemens/meter. Satu coil terdiri dari dua buah yaitu *coil* kanan dan *coil* kiri. Untuk generator model 90^0 membutuhkan 3 *coil*. Jumlah lilitan untuk masing-masing *coil* sebanyak 25 lilitan, sehingga jumlah lilitan yang dipakai dalam generator sebanyak 300 lilitan.

2.5 Desain Model Magnet

Magnet yang digunakan berbahan *Neodimiyum Iron Boron* dengan tipe cylindrical. Untuk model $\frac{1}{4}$ bagian, maka dibutuhkan 4 kutub magnet.

2.6 Desain Model Rotor

Bahan dasar rotor menggunakan USS Transformers 52—29, dengan jarak 40mm. Untuk model 90^0 membutuhkan 4 buah rotor, sehingga generator model 360^0 membutuhkan 16 rotor.

2.7 Desain Model Airgap

Airgap adalah celah udara yang memisahkan antara rotor dan stator. *Airgap* terdiri dari dua jenis yaitu: *airgap* stator dan *airgap* rotor. Lebar *airgap* stator dan rotor sebesar 0.5mm.

2.8 Pengaturan rotasi rotor

Untuk mensimulasikan keluaran *flux* pada rotor, maka perlu diatur nilai rotasi yang diinginkan. Pada penelitian ini, digunakan rotasi 3^0 . Sehingga untuk model 90^0 , maka dibutuhkan 30 rotasi.

2.9 Perhitungan Tegangan Coil

Setelah nilai *flux linkage* diketahui, maka dapat dihitung nilai tegangan pada masing-masing *coil* dengan rumus:

$$E_{\text{coil}} = \Delta\lambda / t, \text{ dimana } E_{\text{coil}} = \text{tegangan pada coil}$$

$$\Delta\lambda = \text{Perubahan flux linkage}$$

$$t = \text{rentang waktu} = 0.5\text{ms} = 0.0005 \text{ detik untuk model } 90^0 \\ \text{dan } 0.06 \text{ detik untuk model } 360^0$$

Selanjutnya tegangan coil untuk model 360^0 atau penuh dihitung dengan rumus:

$$E_{\text{seri}} = E_{\text{coil}} * 4$$

Kemudian dihitung nilai selisih tegangan antar coil dengan rumus:

$$E_{\text{coil1-2}} = E_{\text{coil}_1} - E_{\text{coil}_2}$$

$$E_{\text{coil2-3}} = E_{\text{coil}_2} - E_{\text{coil}_3}$$

$$E_{\text{coil3-1}} = E_{\text{coil}_3} - E_{\text{coil}_1}$$

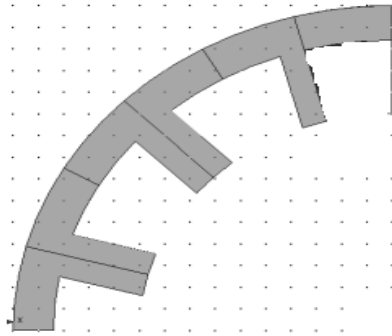
Nilai V_{dc} diambil dari nilai maksimum antara $|E_{\text{coil}_1}|$, $|E_{\text{coil}_2}|$, $|E_{\text{coil}_3}|$

2.10 Perhitungan nilai ω dan K_e

Untuk menentukan nilai ω , maka digunakan rumus $\omega = 2\pi.f$. Dan nilai K_e dihitung menggunakan rumus $K_e = V_{\text{dc rata-rata}} / \omega$

3. Hasil dan Pembahasan

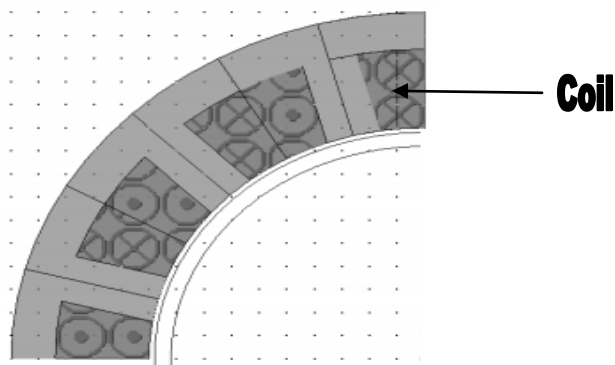
Hasil desain model stator ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa, jumlah stator sebanyak 3 (masing-masing terdiri dari stator kiri dan stator kanan). Sehingga untuk generator model 360^0 , maka membutuhkan 12 stator.



Gambar 1 Model Stator

3.1 Hasil Desain Model Coil

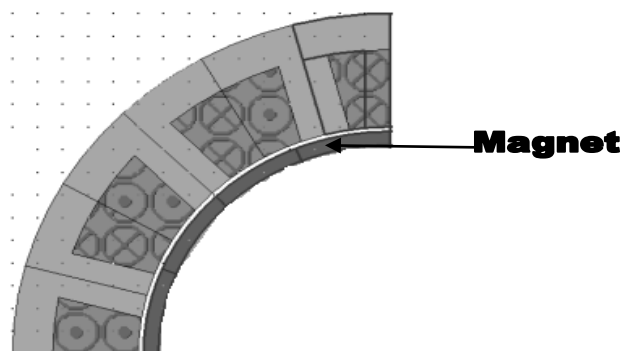
Hasil desain model kumparan ditunjukkan pada gambar2 dibawah ini. Gambar 2 menunjukkan bahwa, jumlah coil sebanyak 3 pasang (masing-masing terdiri dari kumparan kiri dan coil kanan). Sehingga untuk generator model 360^0 membutuhkan 12 kumparan.



Gambar 2 Model Coil (kumparan)

3.2 Hasil Desain Model Magnet

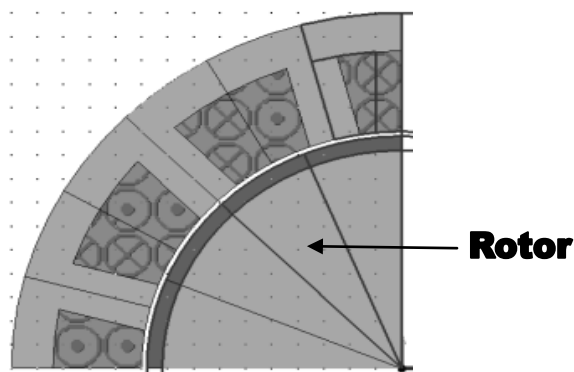
Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah magnet sebanyak 4 kutub. Sehingga untuk generator model 360^0 , maka membutuhkan 8 kutub. Total magnet untuk model 360^0 adalah 16 magnet yang terdiri dari kutub Utara dan Selatan magnet.



Gambar 3 Model Magnet

3.3 Hasil Desain Model Rotor

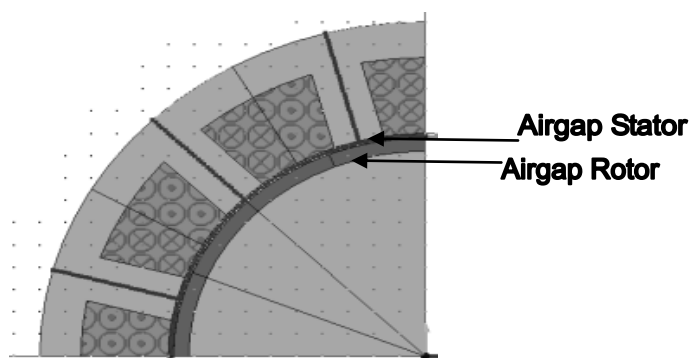
Gambar 4 menunjukkan jumlah magnet rotor 4 buah. Sehingga untuk generator model 360^0 , maka membutuhkan 16 buah magnet rotor.



Gambar 4 Model Rotor

3.4 Hasil Desain Model Airgap

Gambar 5 menunjukkan hasil perancangan *airgap* (celah udara). Yang terdiri dari celah udara stator dan celah udara rotor.



Gambar 5 Model Airgap

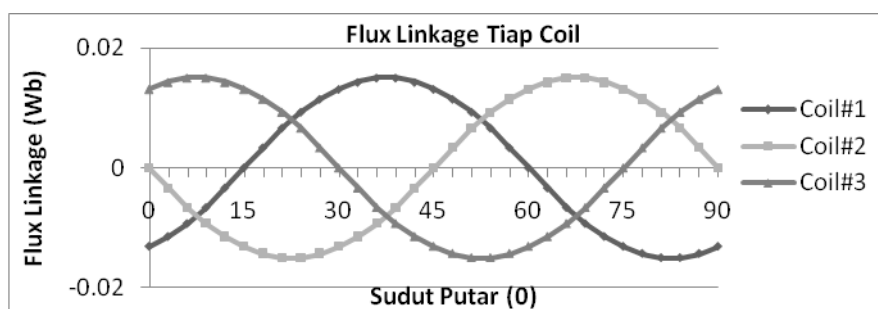
3.5 Hasil Simulasi Flux Linkage

Simulasi hasil proses desain generator menggunakan rotasi 3° , dan hasil *flux linkage* untuk sudut 0° ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1 Nilai Flux Linkage Pada Rotasi 3°

Coil	Flux Linkage (Wb)
1	-0.013149
2	7.99E-09
3	0.013149

Dan untuk rotasi berikutnya, nilai *flux linkage* ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Gambar 6 menunjukkan hasil *flux linkage* untuk masing-masing *coil* berbentuk sinusoida. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran tegangan generator akan berbentuk sinusoida.



Gambar 6 Gelombang Flux Linkage

3.6 Perhitungan Tegangan Coil

Setelah dihasilkan *flux linkage* pada masing-masing *coil*, maka dapat dihitung nilai tegangan pada masing-masing *coil*, seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$E_{coil1} = (\lambda_3 - \lambda_0) / 0.0005 = (-0.0115 - (-0.0131)) / 0.0005 = 3.2967 \text{ V}$$

$$E_{coil2} = (\lambda_3 - \lambda_0) / 0.0005 = (-0.0033673 - 7.99E-09) / 0.0005 = -6.73471 \text{ V}$$

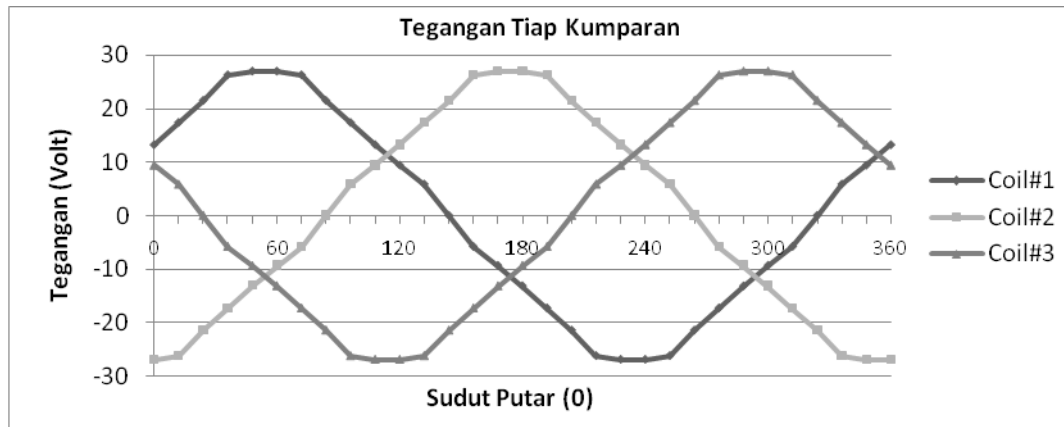
$$E_{coil3} = (\lambda_3 - \lambda_0) / 0.0005 = (0.014321 - 0.013149) / 0.0005 = 2.343902 \text{ V}$$

Hasil perhitungan lengkap untuk sudut $0^\circ - 90^\circ$ ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Tegangan Coil model 90°

Sudut	Coil#1	Coil#2	Coil#3
0	3.296747	-6.73471	2.343902
3	4.335468	-6.56109	1.452161
6	5.370373	-5.37065	0.000326
9	6.561456	-4.33543	-1.45266
12	6.735783	-3.28644	-2.3556
15	6.732489	-2.34405	-3.29426
18	6.561425	-1.45473	-4.33257
21	5.365665	0.00016	-5.36592
24	4.332761	1.454735	-6.56142
27	3.298016	2.340811	-6.73289
30	2.342468	3.296078	-6.73326
33	1.455857	4.33237	-6.56143
36	-2.9E-05	5.368969	-5.36889
39	-1.45612	6.561448	-4.332
42	-2.34356	6.733565	-3.2954
45	-3.29469	6.732934	-2.34383
48	-4.33219	6.560898	-1.45502
51	-5.36814	5.368294	-0.00011
54	-6.56105	4.333673	1.453248
57	-6.73418	3.300491	2.339608
60	-6.73419	2.339481	3.300926
63	-6.56108	1.455712	4.331797
66	-5.37016	-0.00027	5.370531
69	-4.33131	-1.45563	6.560489
72	-3.30072	-2.33953	6.734099
75	-2.33958	-3.30066	6.734295
78	-1.4556	-4.33164	6.560532
81	-0.0001	-5.36993	5.370042
84	1.456265	-6.56106	4.331321
87	2.340817	-6.73401	3.299183
90	3.296747	-6.73471	2.343902

Dari hasil tegangan masing-masing *coil* diatas dapat diperoleh tegangan masing-masing *coil* untuk model penuh 360° dengan cara mengalikan 4. Gambar 7 menunjukkan grafik gelombang tegangan masing-masing *coil* setelah diserikan (model 360°).



Gambar 7 Gelombang Tegangan Coil untuk model 360°

3.7 Perhitungan Tegangan V_{dc}

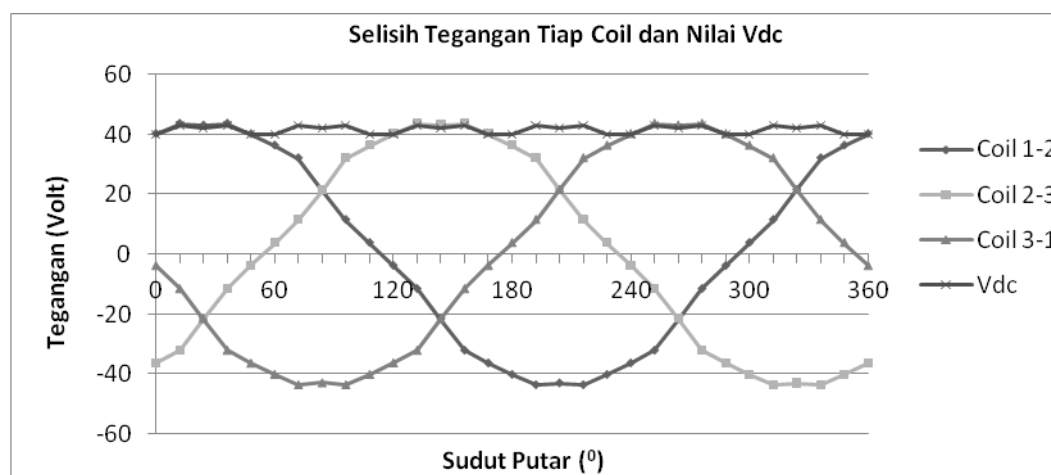
Untuk mendapatkan nilai V_{dc} , maka dihitung terlebih dahulu nilai selisih tegangan *coil* dan nilai V_{dc} diambil dari nilai maksimum mutlak selisih tegangan *coil*. Hasil selisih tegangan antar *coil* dan nilai V_{dc} seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan V_{dc}

Sudut	Coil 1-2	Coil 2-3	Coil 3-1	V_{dc}
0	40.12583	-36.3144	-3.81138	40
12	43.58623	-32.053	-11.5332	43
24	42.96409	-21.4839	-21.4802	42
36	43.58753	-11.5311	-32.0564	43
48	40.08889	-3.72336	-36.3655	40
60	36.30616	3.800828	-40.107	40
72	32.06462	11.51135	-43.576	43
84	21.46202	21.4643	-42.9263	42
96	11.51211	32.06461	-43.5767	43
108	3.828822	36.29482	-40.1236	40
120	-3.81444	40.11736	-36.3029	40
132	-11.506	43.57521	-32.0692	43
144	-21.476	42.95143	-21.4754	42
156	-32.0703	43.57378	-11.5035	43
168	-36.3085	40.11584	-3.80733	40
180	-40.1105	36.30706	3.803452	40
192	-43.5724	32.06366	11.50871	43
204	-42.9457	21.4736	21.47213	42
216	-43.5789	11.5217	32.05717	43
228	-40.1387	3.843532	36.29514	40
240	-36.2947	-3.84578	40.14045	40
252	-32.0672	-11.5043	43.5715	43
264	-21.4796	-21.4832	42.96277	42
276	-11.5027	-32.0645	43.56719	43
288	-3.84476	-36.2945	40.13926	40
300	3.844322	-40.1398	36.29549	40

312	11.50417	-43.5687	32.06452	43
324	21.47932	-42.9599	21.48058	42
336	32.0693	-43.5695	11.50022	43
348	36.29932	-40.1328	3.833463	40
360	40.12583	-36.3144	-3.81138	40

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh gelombang tegangan antar *coil* dan nilai V_{dc} . Gambar 8 menunjukkan grafik selisih tegangan antar *coil* dan nilai V_{dc} model penuh 360° .



Gambar 8 Gelombang Tegangan Antar Coil dan V_{dc}

3.8 Perhitungan Nilai ω dan K_e

$$f = 1/T = 1/0.06s = 16.6667\text{Hz}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 16,6667 = 104,6667 \text{ rad/detik} \approx 1000 \text{ rpm}$$

$$K_e = V_{\text{dc rata-rata}}/\omega = 41.55/104,6667 = 0,397 \text{ Vs/rad}$$

4. Kesimpulan

Dari hasil kegiatan yang sudah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Generator yang dibuat memiliki spesifikasi antara lain:
 - a. Menggunakan magnet permanen *Neodimiyum Iron Boron* (NdFeB)
 - b. Jumlah kutub magnetnya sebanyak 8 buah
 - c. Diameter generator sebesar 18 cm
 - d. Diameter kawat tembaga sebesar 0.6mm
 - e. Jumlah lilitan sebanyak 25 buah untuk masing-masing *coil*
2. *Flux linkage* pada generator dapat disimulasikan, dan hasil gelombangnya berbentuk sinusoida.
3. Tegangan rata-rata V_{dc} yang dihasilkan generator sebesar 41.55 Volt.
4. Untuk menghasilkan V_{dc} rata-rata sebesar 41.55 Volt, generator harus diputar sebesar 1000 rpm.

Referensi

- [1] ESDM, *Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*, Kementrian ESDM. 2006.
- [2] Ditjen-Listrik ESDM, “*Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Dan Konservasi Energi*”. Kementrian ESDM. 2006.
- [3] BMKG, *Arah, Kecepatan Angin dan Kelembaban Relatif Minimum Rata-rata dan Maksimum di Stasiun Pengamatan BMKG*. BMKG Kemenhub. 2008.

-
- [4] Dewantoro, Y., H. *Kaji Eksperimental Kinerja Turbin Angin Vertikal Multiblade Tipe Sudu Curved Plate Profile Dilengkapi Rumah Rotor Dan Ekor Sebagai Pengarah Angin*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Ke-3, Unwahas, 2012; 1:6-11.
- [5] Irfan, M., Machmud, E. *Desain dan Aplikasi PLTB di Pantai Selatan Kabupaten Malang*. Puskareka Fakultas Teknik UMM. 2011.
- [6] Farhan, D., MN, Ramdhan, HS., Mahdi, S. *Perancangan Prototype Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Penerangan Lampu Jalan*. Seminar Nasional dan Ekspo Teknik Elektro, Unsyiah, 2013.
- [7] Suhardi, S. Rancang Bangun Motor Induksi Sebagai Generator (MISG) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Gamma*. 2011, 5(1): 98-104.
- [8] Budiman, A., Dhanar, YA., Hasyim, A. *Pembuatan Dan Pengujian Awal Generator Axial Magnet Permanen Kecepatan Rendah*. Simposium Nasional Teknologi Terapan. Surakarta. 2013.
- [9] Hasyim, A., Jatmiko. Ardiyatmoko, A. *Pembuatan Dan Pengujian Awal Generator Axial Magnet Permanen Kecepatan Rendah*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. Yogyakarta. 2012.
- [10] Hendershot, JR., Miller, TJE. *Design of Brushless Permanent-Magnet Motors*. Oxford. Magna Physic Publishing and Clarendon Press. 1994.
- [11] Idayanti, N., Irasari, P. *Pembuatan Magnet Permanen Bonded Hybrid Untuk Aplikasi Generator Kecepatan Rendah*. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 2009, 536: 141-145.
- [12] G. Dilev, B.Ose-Zala. *Self Excitation of Low Speed Induction Generator*. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2012, 49(4): 21-28.
- [13] Alqodry, F., Rustana, C., Nasbey H. *Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius*. Prosiding Seminar Nasional Fisika. Jakarta. 2015, 4: 135-140.